

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

**Defective images within this document are accurate representation of
The original documents submitted by the applicant.**

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-034129

(43)Date of publication of application : 09.02.1993

(51)Int.Cl. G01B 11/30
G02B 27/44
G02B 27/56
G11B 7/135

(21)Application number : 03-215895

(71)Applicant : KAWADA SATOSHI

(22)Date of filing : 31.07.1991

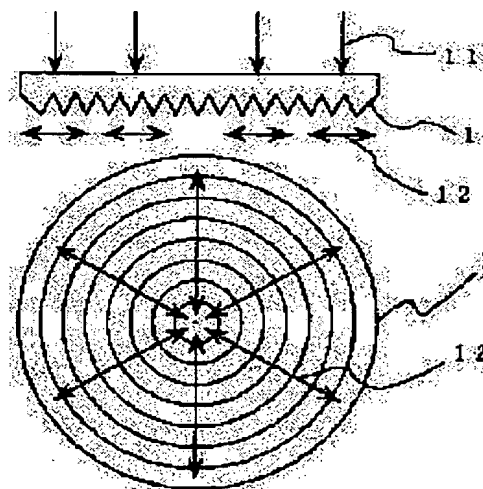
(72)Inventor : KAWADA SATOSHI

(54) OPTICAL PROBE

(57)Abstract:

PURPOSE: To generate an evanescent wave of a short wavelength arbitrarily and thereby to improve a lateral resolution or the like by using a concentric-circle-shaped diffraction grating (axicongrating) for an optical probe of an optical near field microscope.

CONSTITUTION: Probe light 11 falls in the direction of a vertical arrow. The whole probe light 11 is totally reflected by a grating and an evanescent field is generated on the sample side of the diffraction grating. On the occasion, diffracted light 12 of both +first and -first orders exists. A concentric-circle-shaped diffraction grating generating an evanescent wave is provided for an optical probe and a spot of the evanescent wave being smaller than the wavelength of the light is formed at the center of the diffraction grating. By detecting the interaction of this spot and a sample, a microscopic structure of the sample is measured. In this system, the wavelength of the evanescent wave is determined by the grating interval of the diffraction grating. By narrowing the grating interval, a minute spot of an arbitrary diameter can be obtained by an arbitrary wavelength and thus a high resolution in the lateral direction can be realized.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-34129

(43) 公開日 平成5年(1993)2月9日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/30	Z	9108-2F		
G 0 2 B 27/44		9120-2K		
27/56		9120-2K		
G 1 1 B 7/135	Z	8947-5D		

審査請求 未請求 請求項の数4(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平3-215895

(22) 出願日 平成3年(1991)7月31日

(71) 出願人 000124616

河田 聡

大阪府箕面市箕面4丁目1番18号

(72) 発明者 河田 聡

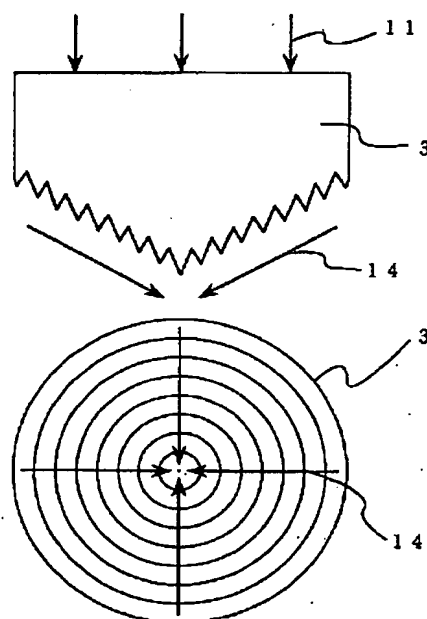
大阪府箕面市箕面4丁目1番18号

(54) 【発明の名称】 光学プローブ

(57) 【要約】

【目的】 光をプローブとして波長よりも細かい構造を計測するために、波長よりも微小なスポットを作る。

【構成】 光プローブにエバネッセント波を発生する同心円状回折格子を設け、光の波長よりも細かいエバネッセント波のスポットを回折格子の中心に作る。このスポットと試料との相互作用を検出することによって、試料の微細な構造を計測する。この系ではエバネッセント波の波長は回折格子の格子間隔によって決まり、格子間隔をせばめれば任意の波長で任意の径の微小スポットが得られ、横方向の高分解能が実現できる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 エバネッセント波を発生する回折格子を有することを特徴とする光学プローブ。

【請求項2】 前記回折格子は、円錐プリズムの円錐面上に設けられた、請求項1記載の光学プローブ。

【請求項3】 前記回折格子にブレースを設けた、請求項1又は2記載の光学プローブ。

【請求項4】 前記回折格子への入射光は収束光又はガウシアンビームである、請求項1、2、又は3記載の光学プローブ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光学式ニアフィールド顕微鏡及び光学式記録装置の光ピックアップに用いる光学プローブに関するものである。

【0002】

【従来の技術とその問題点】 伝播しないエバネッセント波をプローブ光に用いて、光の波長以下の分解能を実現する光学式ニアフィールド顕微鏡がある。これは光学プローブ上にエバネッセント波を生じさせ、試料との相互作用によって生じる場の変化を検出するか、あるいは、試料表面上にエバネッセント波を生じさせ、光学プローブを近づけてエバネッセント波の状態を検出することによって、高分解能な試料の形状測定を行なう。

【0003】 エバネッセント波は非伝播光であり、波長程度の距離で減衰する。光学式ニアフィールド顕微鏡は、この性質を利用して試料の表面形状を高い分解能で計測できる。また、エバネッセント波は通常の伝播光では実現できない短い波長の光波である。光波の波長が短いほど横方向の分解能が高くてできるので、光学式ニアフィールド顕微鏡は、高解像度測定が可能となる。

【0004】 エバネッセント波は、高屈折率側から低屈折率側へ全反射角以上の入射角で光を入射した場合に生じる。また、波長よりも小さい径のピンホールに光を入射した時にもピンホール上にエバネッセント波が生じる。光学式ニアフィールド顕微鏡は、エバネッセント波の発生方法によって二種類に大別できる。一方はフォントントンネリング型ニアフィールド顕微鏡で、他方はピンホール型ニアフィールド顕微鏡である。

【0005】 フォントントンネリング型ニアフィールド顕微鏡では、高屈折率のチップやカバーガラス等に全反射角以上で光を入射した場合に生じるエバネッセント波を用いている。フォントントンネリング型ニアフィールド顕微鏡は非走査型及び走査型の両方で実現可能である。

【0006】 非走査型でフォントントンネリング型ニアフィールド顕微鏡を実現した報告がGuerraによってなされている (Guerra: Appl. Opt., 26, 3741, (1990))。これは、通常の反射光学顕微鏡をすこし改良するだけで、試料を高分解で直接観察できる。

【0007】 走査型のフォントントンネリング型ニアフィ

2

ールド顕微鏡は、Courjon (D. Courjon, K Sarayeddine, and M. Spajer: Optics Commun., 71, 23 (1989))、Reddick (R. C. Reddick, R. J. Warmack, and T. L. Ferrell: Phys. Rev. B, 39, 767 (1989))、大津 (蔭 曙東, 富田直幸, 大津元一, 光学, 第20巻, 134 (1991)) らによって、それぞれ開発されている。

【0008】 ピンホール型ニアフィールド顕微鏡は、波長より小さいピンホールや波長より小さい面積まで先端を尖らせた光導波チップに光を入射し、チップ先端に生じるエバネッセント場を用いている。

【0009】 チップ先端のエバネッセント場のスポット拡がり、エバネッセント波の侵入長程度まではほとんど拡がらないことが知られている。ピンホール型ニアフィールド顕微鏡は、したがってスポット走査顕微鏡の形式を取る。このアイデアは、1956年O'Keefeが提案し (J. A. O'Keefe: J. Opt. Soc. Am., 46, 359 (1956))、1972年にAshがマイクロ波を用いた実験を行ない (E. A. Ash and G. Nicholls: Nature, 237, 510 (1972))、1984年頃Cornell大学のIssacsonのグループ (E. Betzig, A. Lewis, A. Harootunian, M. Issacson and E. Kratschmer: Biophys. J., 49, 269 (1986)) とIBMチューリッヒのPohlのグループ (D. W. Pohl, W. Denk, and M. Lanz: Appl. Phys. Lett., 44, 651 (1984)) が独立して実際の装置化と実験等を行なった。

【0010】 以上の光学式ニアフィールド顕微鏡では表面形状計測における深さ方向の分解能向上には成功している。しかし、横方向の解像度を向上させるのは難しく、あまりよい結果は得られていない。これは、従来の光学式ニアフィールド顕微鏡用光学プローブでは試料の相互作用に寄与する光強度の効率が極めて悪く、検出におけるSN比が低いためである。これが従来技術の問題点になっている。

【0011】 一方、光学式記録装置では光ディスクメモリー等の記録密度を向上させることが課題となっている。このためには、媒体への書き込み及び読み出しに用いるプローブ光を小さく集光することが必要である。

【0012】 プローブ光を小さく集光するために超解像現象を利用した光ピックアップが試作されている (日経エレクトロニクス, 第528巻, 124 (1991))。超解像現象はプローブ光の干渉を利用してスポット径を小さくしている。しかし、スポット径の理論限界は波長の1/2までである。

【0013】 この理論限界から、記録密度を上げるにはプローブ光の波長を短くする必要がある。しかし、現実にはプローブ光の短波長化には限界があり、従来の技術による高記録密度化にはオーバーヘッドが存在する。従来の光ピックアップの問題点は、スポット径を波長の1/2程度までしか小さくできないことである。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、光学式ニアフィールド顕微鏡及び光ピックアップ等に用いる高い解像度と高さ分解能を持つ新規な光学プローブを提供すること、光の利用効率の高い新規な光学プローブの実現方法を提供すること、及び、さらに微細なスポット径を実現できる新規な光学プローブを提供することを課題とする。

【0015】

【課題を解決する為の手段】本発明は、光学プローブに微細な同心円状回折格子（以下、アキシコングレーティング）を用い、プローブ表面に短い波長のエバネッセン

$$\sin \theta = \lambda / d \quad (d = \text{回折格子のピッチ}, \lambda = \text{入射波長})$$

で与えられる。もし、波長と回折格子のピッチが同じであれば、回折の方向は入射光に直交し格子面上を伝播する。

【0018】回折格子は十分薄いとすると、格子間隔が波長より短いと（1）式より $\sin \theta$ は1よりも大きくなり、 $\cos \theta$ は虚数となる。入射光の波数を k とすると、 $k \cos \theta$ は回折格子に垂直な方向へ伝播する回折光の波数を示している。

【0019】アキシコングレーティングでは光を格子面に対して斜めあるいは垂直に入射すると、回折格子の透過側にエバネッセント波が生じ、場を形成する。エバネッセント場中に試料あるいは記憶媒体が存在すると相互作用を起こし、回折格子からの戻り光と試料での散乱光にその効果があらわれる。この効果を検出すれば試料、あるいは記録媒体の情報が得られる。

【0020】アキシコングレーティングは、フォントンネリング型ニアフィールド顕微鏡の高屈折率全反射プリズム、あるいはピンホール型ニアフィールド顕微鏡のピンホールに置き換えられる。よって、光学プローブにアキシコングレーティングを用いた光学式ニアフィールド顕微鏡は全ての光学式ニアフィールド顕微鏡の機能を実現できる作用がある。

【0021】アキシコングレーティングを光学プローブに用いた場合、エバネッセント波となるのは±1次の回折光あるいはそれより高次の回折光である。しかし、回折格子では0次光も存在し、これは伝播光となる。エバネッセント波と試料との相互作用を検出するには±1次以上の回折光による影響と0次光による影響とを分離する必要がある。そこで、例えば次のようにして分離を行なう。試料と回折格子の間隔を時間的にサイン波で変化させると、戻り光あるいは散乱光強度中の0次光成分ほとんど変化せず、±1次以上の回折光成分のみ強度変調される。この変調成分を取り出すことによって、エバネッセント波と試料との相互作用のみを検出できる。また、±1次の回折光はそれ以上の高次回折光と比べると強度は大きく、かつ、侵入長が大きいので、±2次以上の回折光が減衰する距離までアキシコングレーティングと試料との距離を離して測定を行なえば±1次回折光の

*ト波を生成し、高解像度、高分解能及び光の高利用効率化を実現する。回折格子のブレイズの形状、及び入射光の状態を最適化することによって、よりエネルギー密度の高いスポットを形成し、さらに解像度を向上させる。

【0016】

【作用】本発明では、エバネッセント波を微細回折格子で発生させる。

【0017】いま、振幅型サイン波状回折格子に平面波が垂直に入射した場合を考える。回折格子のピッチが波長より長ければ、透過側には0次の透過光と±1次の回折光が生じ、その回折方向 θ は、

$$(1)$$

みの相互作用を検出できる。

【0022】分解能に関しては、原理的には通常の光学式ニアフィールド顕微鏡と同じことが言える。アキシコングレーティングでは、格子間隔を小さくする程、エバネッセント波の浸み出し深さは浅くなり、かつ、その波長は短くなる。波長の短い光波をプローブ光に用いれば、分解能を上げることができる。本発明のアキシコングレーティング光学プローブでは、格子間隔を小さくすれば、それだけ横方向の分解能を向上できる作用がある。解像度の理論限界はプローブ光の波長によって制限されず、回折格子の格子間隔のみで決定する。理論的には、光学プローブに1nmの格子間隔をもつアキシコングレーティングを用いれば、1nmの解像度を任意の波長で得ることができる。

【0023】特定の回折光成分を増加するようにブレイズを設けることにより、エバネッセント場のスポットを細くすることができる。例えば、アキシコングレーティングの中心へ向かう+1次回折光を強く回折し、端へ向かう-1次回折光は存在しない様にブレイズを切ったアキシコングレーティングを用いれば、±1次の回折光の両方が存在する場合より中心スポットは細く、サイドローブの低いエバネッセント場を作ることができる。また円錐プリズム（以下アキシコンプリズム）上にアキシコングレーティングを設けた光学プローブを用いることによって、形状による効果からさらに中心スポットの強度を増加させかつサイドローブと試料との相互作用を減少させる作用がある。これはアキシコンプリズム上のアキシコングレーティングでは回折格子が斜めに傾いた形で光が入射するため、アキシコンプリズム先端に向かう+1次の回折光が-1次光よりも大きくなり、中心スポットにエネルギーが集中するためである。またアキシコングレーティングによるエバネッセント場が先端の尖ったアキシコンプリズムにへばりつくように生じるため、サイドローブの位置が試料より離れるためである。

【0024】

【実施例】アキシコングレーティングを用いた回折格子型光学プローブの一実施例を図1に示す。格子のピッチは光の波長よりも短くする。プローブ光1は図中矢印

5

の方向に入射し、全ての入射プローブ光11は格子によって全反射し、回折格子の試料側にエバネッセント場を生じる。この場合、回折光12は+1次、-1次ともに存在する。回折格子は裏表を反転させてもよい。

【0025】この場合に生じるエバネッセント場は、アキシコングレーティング1の中心軸を中心とした0次のベッセル関数で与えられ、その強度分布を図2のC1に示す。横軸は中心からの距離であり、エバネッセント波の波長つまり格子間隔で規格化してある。中心ピークの半値全幅は、約0.3波長である。

【0026】ブレースを設けたアキシコングレーティング型光学プローブの一実施例を図3に示す。ブレースは回折格子での回折光がアキシコングレーティング2の中心に向かう+1次光のみとなるようにする。+1次回折光13のみが存在できる場合では、格子の端に入射した光が作るエバネッセント波は、ブレースの作用により中心に達するまで逃げる事が出来ず、中心を通り過ぎた後はブレースが逆になっているため-1次光として進行し、アキシコングレーティングの入射側から放出される。

【0027】この時に生じるエバネッセント場は、中心を通過した後の-1次光の伝播距離によって変化する。伝播距離は回折格子のブレース形状によって決定される。伝播距離が1/2波長の場合のエバネッセント場の強度分布の計算結果を図2のC2に示す。ブレースがない場合の結果C1に比べて中心のピークが細くなり、かつ、サイドローブの高さが減少している。中心ピークの幅、及びサイドローブの形状は-1次光の伝播距離によって変化する。-1次光の伝播距離が短いほうが中心ピークの幅は細くなり、サイドローブ高は低くなる傾向がある。

【0028】アキシコングレーティングを用いた場合に生じるエバネッセント場のスポットの半値全幅は、エバネッセント波の波長の0.3倍以下である。エバネッセント波の波長は格子間隔と同じになるため、アキシコングレーティングの格子間隔を選べば、任意径のスポットを任意波長で作ることが可能である。アキシコングレーティングは、電子ビーム加工、フォトリソエッチングあるいはダイヤモンド研削等で作成する。

【0029】次に円錐プリズム（以下、アキシコンプリズム）を用いた対物チップの実施例を図4に示す。アキシコンプリズム3の円錐面上にアキシコングレーティング2を形成している。回折格子形成には前記実施例と同様、電子ビーム加工、ダイヤモンド研削、あるいはフォトリソエッチング等を用いる。アキシコンプリズム3の円錐面上のアキシコングレーティング2の格子間隔は、回折光が円錐面上を進行するエバネッセント波となるように細くする。その条件は、アキシコンプリズム3の屈折率を n_2 、まわりの屈折率を n_1 、アキシコンプリズム3の全頂角を ψ とすると、アキシコングレーティングの格

6

子間隔が $\lambda / \{n_1 - n_2 \cos(\psi/2)\}$ 以下であればよい。

【0030】アキシコンプリズム3中心付近には、周囲から伝播してきたエバネッセント波14が強め合って非常に強い場が形成される。スポットの大きさは入射光の波長に関係なく、円錐面上の回折格子の格子間隔によって決定される。さらに、プリズムの形状による効果から、中心のスポットの強度はアキシコンプリズム3の先端に集中し、エネルギー密度の高いスポットを形成できる。

【0031】また、入射プローブ光11をガウシアンビームにすることによってスポット中心の強度を増強することが可能である。

【0032】アキシコンプリズム3あるいはアキシコングレーティング1、2の中心に収束する入射光を用いることによって、中心の強度を増強することも可能である。

【0033】入射プローブ光11を半分遮断することによってセカンドピークの高さを減らし、中心の相対強度を増すことができる。

【0034】アキシコングレーティング1、2の表面に金属薄膜を蒸着し、光励起表面プラズモンを励起することにより、場の強度を増強し光の利用効率をあげることも可能である。

【0035】これらの光学プローブを用いて構成した光学式ニアフィールド顕微鏡は、通常の光学顕微鏡で実現できるすべてのモードで試料の観察が行なえる。

【0036】図5に反射型顕微鏡を構成した実施例を示す。反射型では、横方向に分解すると同時に表面形状の測定も行なえる。光源26からの光は、ビームスプリッタ23で反射しレンズ22で絞られた後、光学プローブ4に照射され、プローブ中心軸付近にエバネッセント場のスポットを作る。このスポットが試料25の表面に当たり光が反射すると、反射光は光学プローブ4、ビームスプリッタ23を通過して検出器27に到達する。検出器27では、光学プローブ4からの戻り光強度を測定する。試料25と光学プローブ4の距離を正弦波状に変化させて、それに同期して変化する成分のみを取り出せば、スポットでの試料の情報のみを取り出せる。本実施例で、試料の局所的な反射率及び吸収率が測定できる。さらに、検出器27で分光すれば、分光情報も得ることが可能である。光源には、レーザー、あるいは白色光源等を用いる。

【0037】図6に透過型の顕微鏡を構成した実施例を示す。試料25からの散乱光を検出器27に集光して測定することによって、試料の局所的な情報を得る。前記の反射型顕微鏡を構成したの実施例と同様に試料25と光学プローブ4との距離を変化させて、スポット付近での試料の情報のみを取り出す。試料の局所的な吸収率等が測定できる。光源26にはレーザーあるいは白色光源

等を用いる。

【0038】透過型、反射型のいずれの顕微鏡を構成した実施例でも検出器27の前でレーザーの散乱光をカットし、試料からの蛍光を測定すれば蛍光顕微鏡として動作する。同様に、検出器側でラマン散乱光を検出すればラマン顕微鏡として動作する。

【0039】ニアフィールド顕微鏡を赤外分光器に結合した顕微フーリエ分光装置の一実施例を図7に示す。赤外光の波長が $10\mu\text{m}$ であっても、空間分解能 $1\mu\text{m}$ で試料の吸収分布が観察可能である。この様にプローブ光の波長以下の分解能は、既存の装置では実現不可能である。これは、対物レンズを用いているかぎり、スポットサイズは回折限界で決まるからである。

【0040】光ピックアップに応用した実施例を図8に示す。半導体レーザー21から発したレーザー光を光学プローブ4に入射し、プローブ表面上にエバネッセント場のスポットを発生させる。記録媒体31はエバネッセント場の存在する位置まで光学プローブ4に近づく。記録媒体31には情報を2次元的な吸収率、反射率あるいは位相の分布として記録しておく。これらを光学プローブ3の表面のエバネッセント場によって読み取る。

【0041】また、十分に大きな強度を持つ光を光学チップに入射しエバネッセント波を生じさせ、スポット近傍の物質を変化させて局所的な吸収率あるいは反射率を変えることも可能である。入射する光の強度を変化させて局所的な吸収率あるいは反射率の分布を作ることによって記録媒体への情報の書き込みを行なうことができる。

【0042】光学プローブ表面のエバネッセント波のスポット径は非常に小さく、エネルギー密度が高いため、高密度でかつ高SN比での情報の記録が可能である。例えば、スポット径が 1nm の光学プローブを用いれば記録密度は $1\text{bit}/\text{nm}^2$ つまり $1\text{Tbit}/\text{mm}^2$ となり、3.5インチのディスク1枚に 2400Tbit の記録も可能となる。

【0043】

【発明の効果】光学式ニアフィールド顕微鏡の光学プローブにアキシコングレーティングを用いることによって、任意に波長の短いエバネッセント波を生じることができる。このため、顕微鏡の横解像度、及び高さ分解能を向上する効果がある。

【0044】また、エバネッセント場のスポット径は、任意に小さくすることができ、試料との相互作用のエネルギー効率が良くなり、高SN比の試料測定を行なえる効果がある。

【0045】さらに、アキシコングレーティングをアキシコンプリズム上に作るか、あるいは格子にブレードを設けるかによって、中心スポットを細くし、サイドローブを低くできる効果がある。

【0046】光ピックアップに本発明の光学プローブを用いることによって、スポットを小さくし、中心スポットのエネルギー密度を高めることができる。これによって記録密度を増大させ、かつ、高SN比での読み書きが可能となる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】アキシコングレーティングによる光プローブの実施例を示す説明図である。

【図2】アキシコングレーティングによる光プローブ上の場の強度分布である。

【図3】アキシコングレーティングにブレードを設けた光プローブの実施例を示す説明図である。

【図4】アキシコンプリズム上にアキシコングレーティングを設けた光プローブの実施例を示す説明図である。

【図5】反射型ニアフィールド顕微鏡への応用例を示す説明図である。

【図6】透過型ニアフィールド顕微鏡への応用例を示す説明図である。

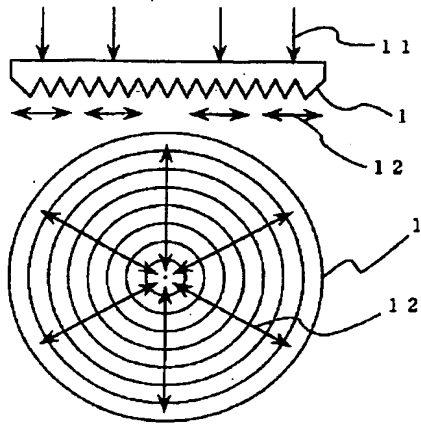
【図7】赤外フーリエ分光装置への応用例を示す説明図である。

【図8】光ピックアップへの応用例を示す説明図である。

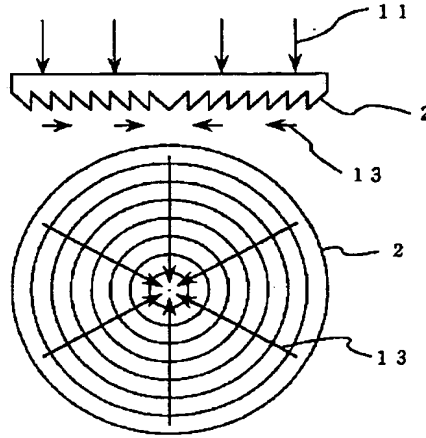
【符号の説明】

- 1、2 アキシコングレーティング
- 3 アキシコンプリズム
- 12、13、14 エバネッセント波
- 4 光学プローブ
- 26 光源
- 28 ロックインアンプ
- 29 ステージ駆動装置
- 30 ステージ
- 31 カセグレン対物鏡

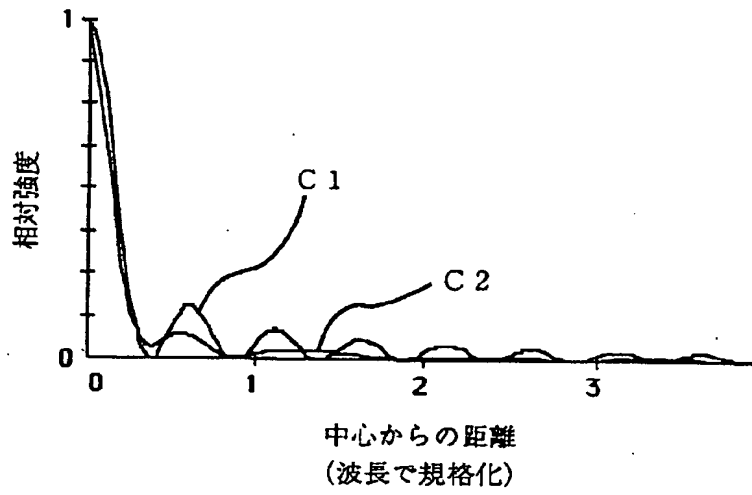
【図1】



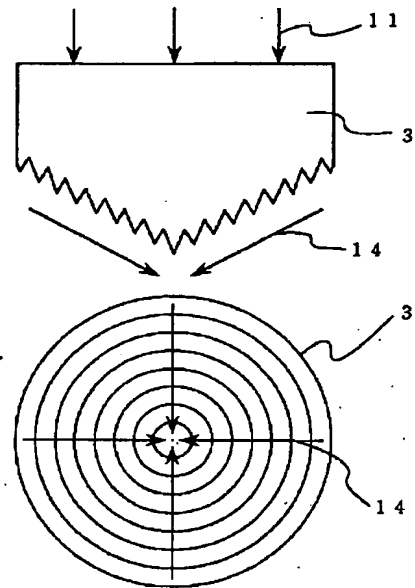
【図3】



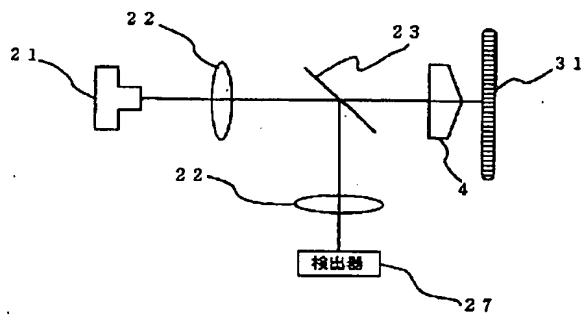
【図2】



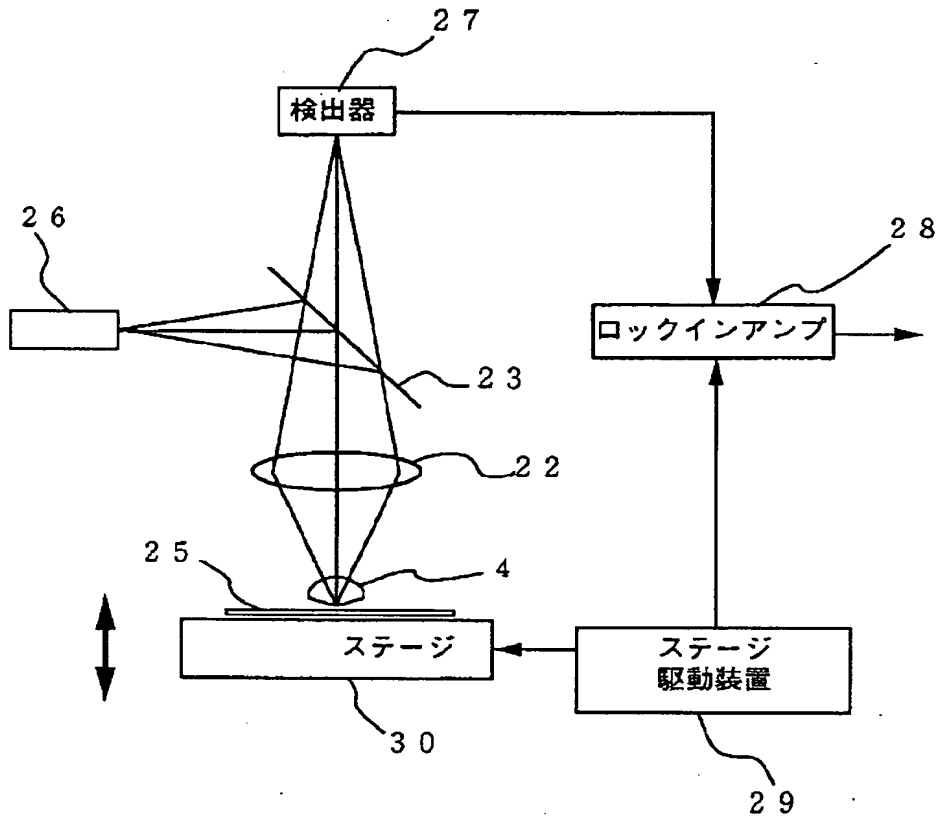
【図4】



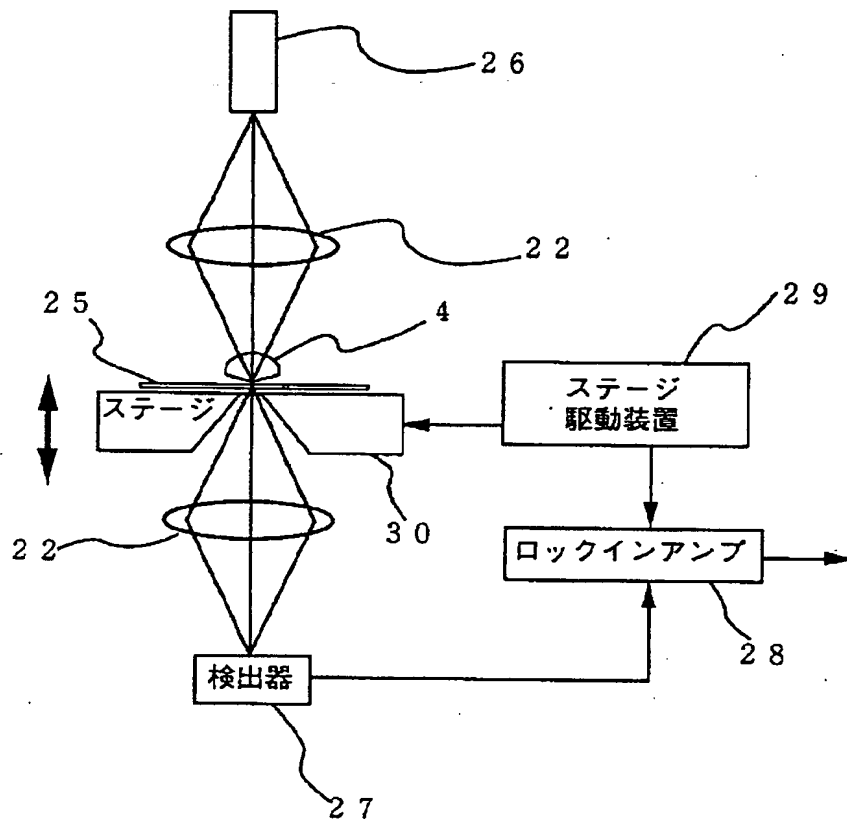
【図8】



【図5】



【図6】



【図7】

